



De besparing van brandstof en CO₂ uitstoot door Windenergie.

door

F. Udo, Monnickendam
C. le Pair, Nieuwegein
K. de Groot, Leidschendam
A. H.M. Verkooijen, Delft
C. van den Berg, Raamsdonksveer/Florence
It.

Correspondentie: <mailto:clepair@casema.nl>

Samenvatting.

Volgens het energieakkoord verdrievoudigt in de periode van nu tot 2023 het windvermogen in Nederland. Dat vergt veel geld. Het beoogde doel is besparing van fossiele brandstof en CO₂ uitstoot. In dit artikel gaan wij na hoe groot de besparing is door inpassing van 10,5 GW windvermogen. Wij combineren daartoe de officieel verwachte opbrengst met de gevolgen van windstroomoverschotten, inpassingverliezen en zelfenergie. Het resultaat is, dat van de jaarlijks gegenereerde 104 PJ (104 x 10¹⁵ Joule) 32 PJ (31%) overblijft. Andere verliesgevende factoren zijn niet verdisconteerd. De brandstofbesparing is kleiner dan die jaarlijks in Nederland wordt bereikt door efficiencyverhoging van ons energiegebruik

1. Inleiding

De vraag hoeveel brandstof en CO₂ uitstoot windmolens sparen is vaak besproken met sterk van elkaar verschillende conclusies. Dat komt doordat praktisch gegevens nodig voor een harde berekening vrijwel geheel ontbreken. In dit artikel zullen wij, tenzij het nodig is preciezer te zijn – gas en steenkool verschillen in CO₂ uitstoot per eenheid geleverde warmte – doen alsof brandstofbesparing en uitstoot vermindering gelijk opgaan. De regering rekent in overeenstemming met EU-afspraken alsof elk kWu windstroom de brandstof spaart van een kWu fossiel opgewekte stroom. Minister Kamp en zijn voorganger Verhagen geven toe dat het wellicht 3% minder zou kunnen zijn door verliezen¹. Een eerdere voorgangster, mevrouw Van der Hoeven, bekende de Tweede Kamer dat 5,1% van de besparing verloren ging². De heer Herwicker, een molenfan van KEMA (thans DNVGL), een instelling die het voor de overheid uitzocht, gaf toe: “Het verlies... is misschien 10% van de CO₂ winst die je boekt.”³ P. Lukkes⁴ noemt een verlies van 25%. Dat is door Minister Kamp weersproken in een brief aan de Tweede Kamer dd. 23 april 2014.

Andere studies in binnen- en buitenland melden nog andere percentages. Buitenlandse uitkomsten mogen alleen, zoals wij hieronder in dit artikel hebben gedaan, onder voorbehoud worden gebruikt. Tussen de officiële 0% verlies van de EU, de 3 of 5% van EZ, de 10% van KEMA, de 25% van Lukkes en de 100% berekend door een van ons (CIP)⁵ ligt een alarmerend verschil. Alarmerend omdat de investeringen voor de molenbouw geen onmisbare bijdrage leveren aan de stroomvoorziening. Wij geven twee voorbeelden om deze stelling te illustreren.

- A. Gedurende een aantal weken per jaar is de stroomproductie uit windmolens in heel West Europa nul of ten hoogste enkele procenten van het nominale vermogen. Dit is tot nu toe in de publieke discussie veronachtzaamd. De consument merkt het niet, omdat conventionele eenheden het gat vullen. Daarentegen is uitvallen van de stroom in een deel van het land voorpaginanieuws. Windstroom is niet gelijkwaardig aan klassiek opgewekte stroom. Zonder opslag biedt wind geen leveringszekerheid.
- B. Zodra windenergie meer dan enkele procenten van de stroombehoefte dekt, daalt de stroomprijs als het hard

waait. Hiervoor bedacht het Centraal Planbureau al in 2010 de naam profieffect.

Uit belasting op stroom zal de overheid volgens het Energieakkoord de windindustrie voor geleverde stroom uit zee 18 miljard Euro exploitatiesubsidie verstrekken. Dat is niet het enige, want in dit bedrag zitten niet de al aangeane verplichtingen ten bedrage van € 5,5 miljard voor bestaande en al aanbestede windparken op zee. Deze bedragen zijn nodig om de particuliere investeringen in windenergie een gegarandeerd rendement te bieden. Het is meer dan de Betuwelijn, de hogesnelheidslijn en de JSF vliegtuigen samen kosten⁶.

Bij zulke bedragen is het essentieel te weten in hoeverre het besparingsdoel gediend wordt. Men kan van € 23,5 miljard ook op andere manieren nut hebben. En de besparingsdoelen zijn langs andere weg, zoals verhoging van de energie efficiëntie goedkoper te bereiken.

Merk op dat de maatschappelijke kosten van duizenden molens in het landschap in geen enkele kostprijsberekening worden meegenomen.

In dit artikel zullen wij daarom op basis van de nu aanwezige kennis berekenen wat Nederland mag verwachten van de brandstofbesparing en CO₂ uitstoot vermindering als gevolg van de molenbouw. Daarbij is het goed steeds de cijfers in de volgende tabel goed voor ogen te houden.

Tabel 1.

Huidige situatie (2011)⁷.	<i>1 PJ = 10¹⁵ Joule</i>
Totale energie import en winning Nederland	20048 PJ
In Nederland verwerkt + verbruikt	13443 PJ ⁸
Nederlands verbruik	3245 PJ
Nederlands elektriciteitsverbruik	422 PJ
Windstroomproductie in 2023^a	104 PJ
De windbijdrage in 2023 is bij overigens ongewijzigde inzet als in 2011:	
Van het elektriciteitsverbruik	25%
Van het Nederlands energieverbruik	3,2%
Van de energie hier verwerkt en verbruikt	0,8%
Van de totale Nederlandse energie import & winning	0,5%

a) De windstroom productie in 2023 is berekend voor 6 GW op land met een capaciteitsfactor (CF) van 25% en 4,5 GW op zee met een CF van 40%.

D.w.z. indien de molens zouden doen wat de regering verwacht, zullen zij een half procent van onze energie import en winning, of 0,8% van wat wij verwerken en verbruiken en 3,2% van wat wij aan energie gebruiken, gaan leveren. En voor die fractie zullen land en zee bezaaid zijn met molens. In de afgelopen jaren nam de efficiëntie waarmee wij met energie omgaan jaarlijks met ongeveer 1% toe. In een jaar besparen wij dus nu al meer dan de toekomstige molenproductie. Een miniem schepje er bovenop, zodat dit 1,05% wordt, is met wat overheidsstimulering reëel haalbaar. Daarmee zijn we in 2023 zonder molens even ver als met molens. Kortom de windbijdrage volgens de officiële verwachtingen is futiel en zoals uit het navolgende zal blijken, is het in werkelijkheid nog minder.

Hieronder worden aan de hand van praktijkuitkomsten 3 effecten besproken, die de bijdrage van wind energie verminderen.

1. Niet inpasbaar overschot aan windstroom in periodes van veel wind.
2. Rendementsverliezen van bestaande centrales veroorzaakt door de bijdrage van wind energie.
3. Energie gebruikt om de turbines te bouwen, te plaatsen en aan te sluiten op het bestaande net.

1. Overschot aan windstroom.

Nederland verkeert in vergelijking met andere Europese landen in de meest ongunstige situatie. De enige techniek van stroomopslag die economisch verantwoord is, waterkracht, is hier niet beschikbaar om overschotten op te vangen. Projecten als OPAC en het Lievense/KEMA energie-eiland zijn nooit van de tekentafel gekomen. De tweede mogelijkheid, export van windstroom, wordt in de loop van de volgende 10 jaar afgesneden door de toename van windenergie in de ons omringende landen. De windsterkte in heel W Europa is sterk gecorreleerd. Dus als het in Nederland hard waait, dan geldt meestal hetzelfde voor de hele regio. *Wanneer er 10,5 GW aan windmolens in Nederland staan, dan zullen wij de bijbehorende problemen zelf moeten oplossen.* Tot die conclusie kwam ook de KEMA¹⁰.

Het probleem van de overschotten aan windstroom is al vroeg onderkend. De groep Windenergie in Delft heeft hier al in 2008 aan gewerkt. In februari 2009 meldde De Ingenieur in een

bespreking van het proefschrift van Ummels⁹, dat grootschalige inpassing van windenergie geen probleem is. Dat is onjuist. De powerduurcurves in figuur 1 zijn overgenomen uit het proefschrift met toevoeging van de horizontale lijn op 10 GW.

Figuur 1.

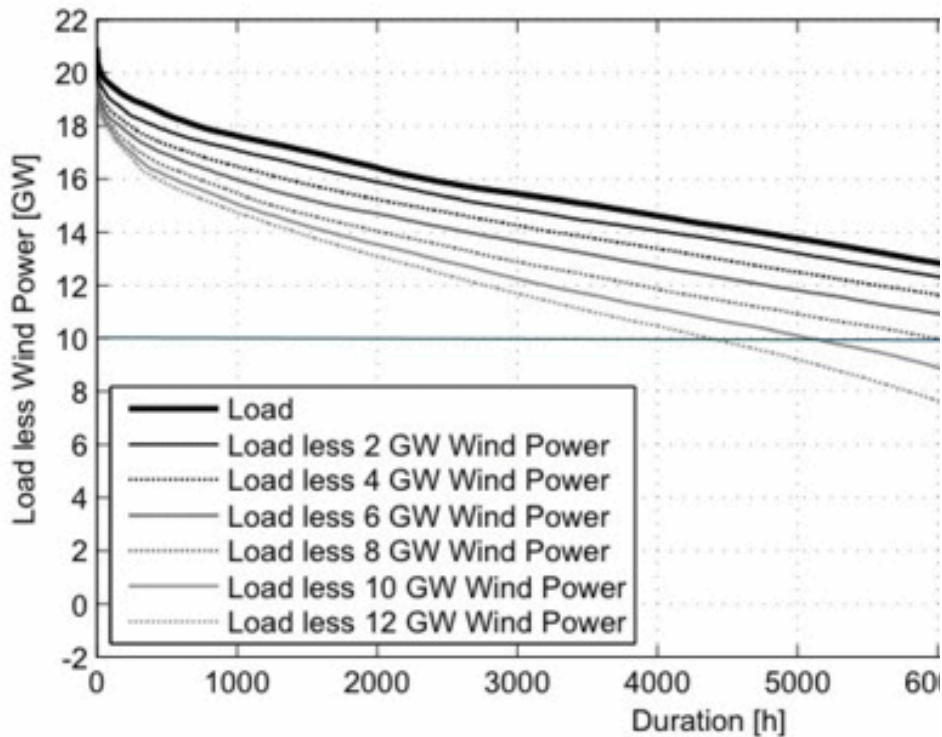


Figure 2.12: Load-less-wind power duration curves for 0–1000 h.

De bovenste curve is opgebouwd, door de vraag naar stroom voor ieder van de door TenneT in een jaar geregistreeerde 8736 uren te rangschikken naar aflopende waarde. De curven daaronder zijn op dezelfde manier verkregen door de vraag naar stroom te verminderen met de windproductie in elk van de 8736 uur en daarna die punten weer te rangschikken naar aflopende waarde. De windproductie is uitgerekend door de windkracht gegevens van het KNMI van het jaar 2005 te vermenigvuldigen met de opbrengstkarakteristiek van een windmolen. Let wel: De methodiek maakt, dat punten die verticaal boven elkaar liggen niet a priori op hetzelfde tijdstip gemeten zijn. Een basislast wordt in de figuur weergegeven door een horizontale lijn.

De vraag is nu: Hoe groot is het 'must run' vermogen van het Nederlandse ('fossiel' en nucleair gedreven) generatorpark? Dit

is het minimum vermogen waaronder de stroomvraag minus windproductie niet mag zakken om de generatoren bedrijfsklaar te houden. Het antwoord van de windindustrie is: “Het minimum vermogen zal zover naar beneden gebracht worden als nodig om de verliezen verwaarloosbaar te doen zijn.”

Uit de grafiek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

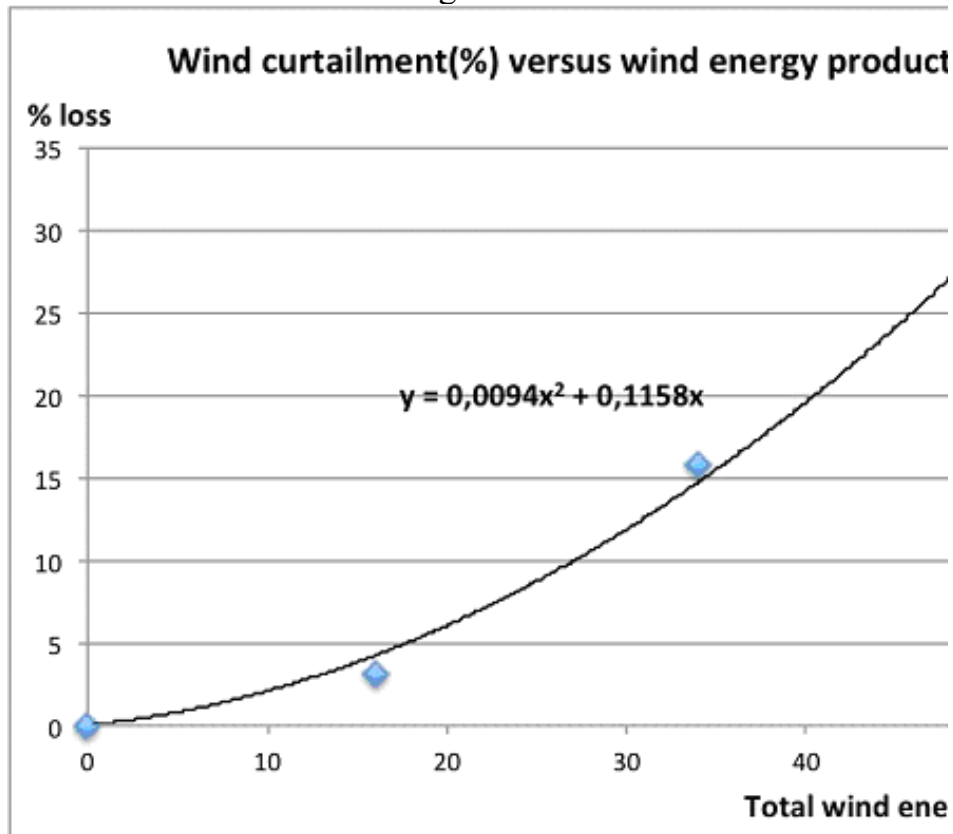
- De horizontale lijn bij 10 GW geeft aan, dat bij 10 GW must run vermogen er aanzienlijke overschotten in windenergie zullen optreden.
- Integratie van de ‘12 GW wind’ curve onder de horizontale 10 GW lijn laat zien, dat in dat geval de ‘curtailment’ (= de niet plaatsbare productie) 40% is. Ofwel, dat 40% van de totale windstroomproductie niet ingepast kan worden in het Nederlandse stroomnet.
- Trekken wij de ‘must run’ lijn op 5 GW, dan is de curtailment bij 12 GW windvermogen minder dan 10%.

Het is moeilijk om het actuele must run vermogen te bepalen, omdat dit afhangt van de situatie op de stroommarkt. In opdracht van de energiebedrijven Delta, Essent, Eneco en Nuon en de Algemene Energieraad onderzocht de KEMA al in 2010 het inpassingsprobleem¹⁰. De conclusie was, dat bij 9 GW wind er 1,5 TWh (5,4 PJ) verloren gaat en bij 12 GW wind 5 TWh (18 PJ).

Lineair interpolerend is bij 10,5 GW het verlies 11,7 PJ. De jaarproductie van 10,5 GW windvermogen is volgens tabel 1 gelijk aan 104 PJ, *dus het verlies komt op 11%*.

In een studie van de Ierse elektriciteitsproductie¹¹ staat een grafiek gebaseerd op gemeten inpasverliezen als functie van het aandeel wind in het totaal:

Figuur 2.



Deze grafiek, gebaseerd op praktijkgegevens komt uit op 9 procent verlies bij een windaandeel van 25%. Hierbij moet worden aangetekend, dat Ierland over enige waterkracht beschikt. Dat is een goede buffer voor windfluctuaties. Dus de verliezen in Nederland zullen hoger zijn. Het must run vermogen in Ierland is uitgerekend uit de gegevens van EIRGRID en bedraagt 1,3 GW. De mix van fossiele brandstoffen is ongeveer gelijk aan de Nederlandse, maar in Ierland staat geen WKK vermogen. (WKK=warmtekrachtkoppeling, een efficiënte manier van stroom en warmteopwekking. Die is in gebruik in industriële bedrijven en de Nederlandse tuinbouw.) Het Nederlandse verbruik is 5 maal zo groot als het Ierse, dus bij gelijkblijvende omstandigheden is het must run vermogen in Nederland $5 \times 1,3 \text{ GW} = 6,5 \text{ GW}$. Hier komt bij de 0,7 GW van Borssele¹² en een gedeelte van de 7 GW WKK vermogen. Dit brengt het must run vermogen in Nederland op 8 tot 9 GW.

De conclusie is, dat de overschotten van windenergie in Nederland in 2023, wanneer de plannen zijn gerealiseerd tenminste 10% zullen bedragen.

2. Rendementverliezen veroorzaakt door de windbijdrage.

De meest directe manier om de CO₂ uitstoot te berekenen is door

het brandstofverbruik van de centrales op te tellen. Helaas worden deze getallen niet gepubliceerd en voelt de regering niet de behoefte om op deze enige onomstreden manier het effect van wind energie te doen meten. Hierdoor moet elke beschouwing over de invloed van windstroom op het brandstofverbruik van de fossiel gestookte centrales uitgaan van indirect bepaalde getallen voor CO₂ productie ofwel brandstof verbruik.

De Ierse netbeheerder EIRGRID leidt het brandstofverbruik af uit de stroomproductie en het vermogensafhankelijk rendement van op constant vermogen werkende generatoren. De rendement vermindering ten gevolge van het op- en afregelen van fossiel gestookte generatoren is niet verdisconteerd in deze berekeningen evenmin als het brandstofverbruik van de draaiende reserve. De gebreken van die methode zijn al eerder besproken¹⁴. Er zijn vier studies afkomstig uit 3 landen, die de inpasverliezen berekenen uit praktijkgegevens. Het energieakkoord mikt op 25% windbijdrage, maar de studies hebben betrekking op gevallen met minder wind. De inpasverliezen nemen toe met de windbijdrage, dus de resultaten zijn ondergrenzen.

A. Spanje.

Guthierrez et al publiceerden over de inpassing van windenergie in het Spaanse energiesysteem¹³. Zij gebruikten de EIRGRID methode om het brandstofverbruik te berekenen. In 2011 was de windbijdrage in Spanje 14,7% van het totaal aan opgewekte stroom. Niet alle Spaanse centrales werden op- en afgeregeld om te compenseren voor de variaties in wind bijdrage. De daarvoor wel gebruikte centrales genereerden 62% van het totaal aan stroom, dus voor een vergelijking met Nederland dient het effect van de windbijdrage berekend te worden over dat deel van het systeem. De windbijdrage verminderde de productie van deze centrales met 28%. Uit de gegevens van Guthierrez et al kunnen de volgende getallen worden afgeleid:

- De totale CO₂ uitstoot van het systeem met wind is 87,2 megaton.
- Fossiel plus wind produceren 151300 GWh stroom.
- De CO₂ uitstoot voor 151300 GWh stroom, maar fossiel opgewekt is 97,6 megaton.
- De besparing door 42000 GWh windstroom is $97,6 - 87,2 = 10,4$ megaton of 10,7%.
- **De vermindering van de CO₂ uitstoot is 246 g/kWh.**

Die vermindering is minder dan de besparing in CO₂ uitstoot volgens de verwachtingen indien alleen gas zou zijn gebruikt om de wind te balanceren.

B. Ierland.

De Ierse energieautoriteit, EIRGRID, geeft gedetailleerde numerieke informatie over de stroomproductie, per kwartier: de totale vraag, de CO₂ uitstoot, de fossiele productie en de windproductie. EIRGRID leidt het brandstofverbruik af uit de stroomproductie en het vermogensafhankelijk rendement van op constant vermogen werkende generatoren. Daaruit is het rendement van vervanging van fossiel door wind af te leiden. Hierover zijn twee publicaties verschenen, die beide de gegevens van 2011 gebruiken.

Udo¹⁴ laat zien, dat het rendement van de windbijdrage varieert van 40% tot 100% afhankelijk van de beschikbaarheid van waterkracht in het systeem. Het gemiddelde over het jaar 2011 was 70% in deze analyse, dus een verlies van 30% t.o.v. de EZ-EU rekenwijze.

Wheatley¹⁵ heeft een uitgebreidere analyse gemaakt van het Ierse systeem voor datzelfde jaar. Naast de EIRGRID data verzamelde hij die over het feitelijk brandstofverbruik van de producenten. In zijn woorden:

“Based on an emissions model and 1/2-hourly generation time-series for each grid connected thermal generator, it is shown that wind power saved 0.28 tonCO₂/MWh on average, relative to an average carbon intensity in the absence of wind of 0.53 tonCO₂/MWh.”

De relatieve opbrengst berekend uit deze analyse is $0,28/0,53 = 53\%$, dus een verlies van 47%. Dit getal is dichterbij de waarheid dan de 30% gevonden in ref. 14 dat is berekend met de EIRGRID data.

C. Colorado.

De BENTEK studie ‘How less became more’¹⁶ maakte gebruik van de officiële emissie gegevens van het EPA (Environment Protection Agency, vergelijkbaar met ons milieu ministerie) van voor en na de opbouw van het windvermogen en vergeleek die. De studie houdt rekening met het effect van im- en export van stroom over de staatsgrenzen. In dit geval van wind compensatie door kolencentrales blijkt de totale CO₂ uitstoot hoger met, dan zonder wind.

De conclusie uit deze studies is dat de brandstofbesparingen van 25% windstroom in een systeem zonder waterkracht en zonder

significante exportmogelijkheid ten hoogste 50% tot 60% bedragen van wat tot nu toe in beleidsdocumenten wordt gesteld, als gevolg van rendementsverliezen.

3. De zelfenergie van windmolens.

De economische levensduur van een molen wordt door de SDE+ regeling op 15 jaar gesteld. De periode van terugwinning van de zelfenergie – de energie verbruikt bij de molenfabricage en plaatsing – moet daarmee vergeleken worden. De windindustrie geeft toe, dat een molen 6 maanden moet draaien om de zelfenergie terug te verdienen. Berekeningen gemaakt door auteurs met minder belang bij de windindustrie komen uit op hogere getallen.

- A. Ir. J. van Oorschot, directeur R&D van Volker Wessels Stevin, betrokken bij de plaatsing van de molens, berekent dat het 1,5 jaar kost voor een molen zijn eigen energie heeft gegenereerd¹⁷.
- B. F. Udo¹⁸ berekent, dat een molen met een capaciteitsfactor van 25% er 11,5 maanden over doet om zijn eigen energie op te wekken. Die berekening is gebaseerd op gegevens uit een studie gedaan in Sydney¹⁹.

Indien wij van de laagste waarde voor het verlies uit beide berekeningen uitgaan, resulteert een verlies van 7%. (Een terugverdientijd van 1 jaar bij een levensduur van 15 jaar.) Deze berekeningen stoelen echter op officiële energie opbrengst en fossiel vervangings cijfers van de molens. In de voorgaande sectie bleek dat de werkelijke besparing door inpassingsverliezen, dus het terugverdienen van voor bouw en installatie van de molens benodigde energie 50% minder is. Terugverdienen duurt dus twee maal zo lang. Ook de stroomoverschotten leveren geen bijdragen, dus verdienen niets terug. **Bij gevolg is het verlies door zelfenergie meer dan twee keer zo groot, dus >14%.**

4. Resultaat van deze besparingverminderingen.

De verliezen bij inpassing van 25% wind in het net zijn:

Stroomoverschot	-10%
Inpassing	-50%
Zelfenergie	-14%

Het stroomoverschot, de ‘curtailment’, is onafhankelijk van de andere twee, dus de totale windproductie neemt af met 10%. De rest moet ingepast worden, dus de brandstofbesparing is 0,5 x

0,90 = 0,45 van de totale productie. De zelfenergie komt ten laste van de brandstofbesparing na inpassing in het systeem. Zij is 14% van de totale productie, dus de volle 14% moet afgetrokken worden van de restbesparing.

Het resultaat is, dat na aftrek van de verliezen netto ten hoogste 31% van de totale productie als brandstof- c.q. CO₂ besparing overblijft. O.i. zijn daarom investeringen in grootschalige toepassing van sterk fluctuerende energiebronnen zonder energieopslag onverantwoord.

Voor een fractie van de kosten van het windavontuur in het energieakkoord zou met 0,05% meer energiebesparing dan de thans gebruikelijke van 1% 's jaars meer besparing en minder CO₂ uitstoot worden bereikt.

5. Discussie.

In bovenstaande berekening zijn overal waar twijfel bestond waarden gebruikt die het gunstigst zijn voor de windindustrie. Bovendien zijn de volgende factoren niet meegenomen omdat gegevens ontbraken.

- De bouw en de plaatsing van de molens zijn niet de enige activiteiten en installaties die energie kosten. Ook de bekabeling en netaanpassing vergen een energie-investering. Daarbij komt nog dat het windavontuur uitbreiding van het gewone net vergt. Die activiteiten zijn zo veelomvattend dat men bijvoorbeeld in Duitsland er jaren mee achter is. Data ontbreken om hieromtrent een hard cijfer te noemen maar het is waarschijnlijk dat deze energie-investering in dezelfde orde van grootte is als die van de zelfenergie.
- Wanneer windmolens niet produceren vergt de erin aanwezige apparatuur wel stroom. Bij Duitse windparken op zee met ontbrekende netaansluiting, moesten daarvoor halsoverkop noodvoorzieningen worden getroffen. In hoeverre dit zelfverbruik in de productiecijfers is verdisconteerd is onbekend. In het beste geval verandert het niets aan onze uitkomsten, anders zouden die verder in ongunstige zin moeten worden bijgesteld.
- In verschillende studies is brandstofverbruik afgeleid van de elektriciteitsproductie en prestatiecurven van de generatoren. Dat betekent dat rendementsverlies tijdens het op- en afregelen niet is verdisconteerd evenmin als brandstofverbruik tijdens het draaien zonder productie om vlug inschakelen mogelijk te maken. Alleen indien voor

het brandstofverbruik werkelijke input gegevens gebruikt zijn, vervalt dit bezwaar.

- De capaciteitsfactoren van de molens, 25% voor molens op het land en 40% op zee in de officiële verwachtingen zijn voor de beschouwde periode te optimistisch. Indien toekomstige molens op een gunstige locatie dat al ooit zouden halen, hebben we ook te maken met een deel oudere molens. Voorts staan molens soms wegens onderhoud stil. In 2010 was de capaciteitsfactor van alle bestaande Nederlandse molens samen 23%. Molens hebben voorzien en onvoorzien uitval en onderhoud. Hoe ouder ze zijn hoe vaker. Onlangs werd bekend dat het productieverlies per jaar - 1,6% +/- 0,2% blijkt te zijn²⁰. Deze factor vermindert de totale productie in de levensduur van 15 jaar met 10%. Aan het eind van die periode is die zelfs 22% minder (!).
- Windmolens vergen onderhoud dat ook energie kost. Dit zal vooral op zee beduidend zijn en per geleverde eenheid energie ordes van grootte hoger dan voor fossiele brandstof in centrales op het land vanwege de geringe energielevering per onderhoudslokatie in het geval van wind.
- De windstroom van zee moet over grotere afstanden getransporteerd worden dan bij conventionele stroom gebruikelijk is. Daarbij treden verliezen op zowel in de kabels als in de transformatoren. (Bij windstroom op land is het gunstiger.) Aan gelijkstroom transport kleven per kilometer minder transportverliezen, maar daar treden extra omvormerverliezen bij op (thyristors!).

*Alles bijeen zal de feitelijke besparing niet uitkomen boven 30% van de verwachte. **Hetgeen in 2023 de windbijdrage aan de Nederlandse energie import en winning tot minder dan 0,2% terugbrengt. Deze 0,2% is het soulaas dat de wind ons biedt wanneer onbetrouwbare leveranciers vervelend doen. Intussen ontsieren de molens dan overal het landschap, verlagen de waarde van onroerend goed, bemoeilijken de navigatie op zee en vergroten daarmee de kans op aanvaringen. De bereikte besparing is minder dan 0,3% van de energie die wij in Nederland verbruiken en verwerken²¹ en 1% van het eigen verbruik.***

Conventionele bedrijven, die inspringen als de wind het laat afweten, zullen de kosten van het 'stand by' draaien niet meer kunnen opbrengen. Zij gaan die in rekening brengen, zoals

aangekondigd door Peter Terium, CEO van RWE.
De prijs die de gemeenschap zal betalen voor besparing van fossiele brandstof en CO₂ uitstoot met windmolens is meer dan drie maal hoger dan beloofd.

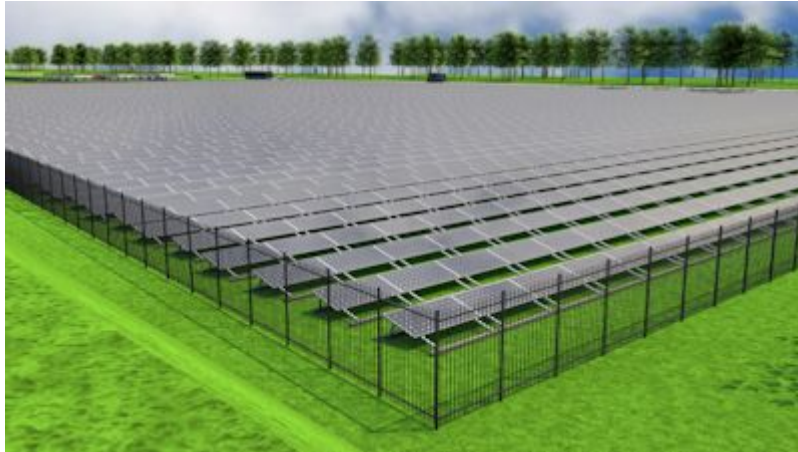
2014 06 11.
herzien 2014 07 28.
abstract herzien 2014 08 19.
verwijzing 20 in tekst, 2014 09 24
verbeterde omschrijving grafiek
Power duration curves met dank aan
H.v.d.Voort. 2014 10 09

Verwijzingen en noten.

1. Brief MEZ d.d. 29 nov. 2011 aan C. le Pair. Minister Kamp in Tweede Kamer: vergaderjaar 2010-2011, aanhangsel, nr. 2815; vergaderjaar 2010-2011, aanhangsel, nr. 3440; vergaderjaar 2012-2013, aanhangsel, nr. 474.
2. Mw. M. v.d. Hoeven in de Tweede Kamer vergaderjaar 2009-2010, aanhangsel, nr. 1574. ('Bij 33,3% lager conventioneel vermogen 31,6% minder brandstofverbruik', i.e. verlies aan besparing 5,1%.)
3. Chr. Herwicker, KEMA, in de Volkskrant 2010 05 01: "Het verlies... is misschien 10% van de CO₂ winst die je boekt." Via een link in: [Volkskrant](#).
4. [P. Lukkes: Nut en noodzaak van windenergie in het Energieakkoord; Leeuwarden, maart 2014.](#)
5. [C. le Pair: Facts about the savings of fossil fuel by windturbines in The Netherlands.](#)
6. M. Wiersma & P. Vollard in de Prov. Zeeuwse Crt. "te gast" april 2014, melden dat voor windpark Krammer de eigen inbreng van de ondernemers 15 – 20% is. De rest wordt door financiers aangedragen. (Die o.i. geen risico hebben vanwege de afnameverplichting voor windstroom en andere emolumenten.)
7. G. van Schoonewelle: Energiejaarbals van Nederland (2011); De Ingenieur, april 2014. Van de daarin vermelde 546 PJ aangewend als 'arbeid' gebruiken wij 422 PJ in de vorm van elektriciteit (CBS).
8. 7388 PJ is doorvoer naar buitenland van onbewerkte brandstof. Daarnaast verwerken wij 9415 PJ, die we exporteren plus 783 PJ voor internationaal transport.
9. B.C. Ummels Proefschrift TU Delft Februari 2009.
10. Technologiokrant , 2010 09 24. De KEMA geeft tevens aan dat door de opbouw van windvermogen elders, export van overtollige stroom geen goede optie meer zal zijn.
11. [F. Udo Curtailment in the Irish power system.](#)

12. Het is natuurlijk tegen elke rede in om de CO₂ loze productie van Borssele terug te regelen en daarvoor windenergie in de plaats te stellen.
13. [F. Gutiérrez-Martín, R.A. Da Silva-Álvarez, P. Montoro-Pintado: Effects of wind intermittency on reduction of CO₂ emissions. The case of the Spanish power system.](#)
14. [F. Udo, Wind energy in the Irish power system.](#)
15. [J.B. Wheatley: Quantifying CO₂ savings from windpower; Energy Policy, 2013, vol. 63, issue C, pages 89-96.](#)
16. BENTEK: [Wind Power and Unintended Consequences in the Colorado Energy Market.](#)
17. De berekening staat in noot 13 van C. le Pair en K. de Groot: [De invloed van elektriciteit uit wind op het fossiel brandstofgebruik.](#)
18. [F. Udo: Building wind turbines costs more energy than you think.](#)
19. [Lenzen, M. \(2008\) Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. Energy Conversion and Management 49, 2178-2199.](#)
20. I. Staffell, R.Green: [How does wind farm performance decline with age?; Renewable energy, 66 \(2014\) 775.](#)
21. Onze verantwoordelijkheid voor de brandstof die wij verwerken en aan het buitenland verkopen is vergelijkbaar met de brandstof die wij verbruiken voor industriële producten, die wij vervolgens met winst exporteren. Windvoorstanders bestrijden die visie. Dan oogt het windaandeel beter. Minister Kamp trekt zelfs van de brandstof die wij voor eigen behoefte verbruiken het deel af, dat voor producten wordt gebruikt. Beide bezwaren zijn oneigenlijk. De brandstof die verbruikt wordt is deel van de oprakende wereldvoorraad, of je het nu verbrandt of er polyester van maakt, of als benzine of diesel verkoopt. Hooguit veroorzaakt de brandstof die aan producten opgaat minder CO₂ uitstoot. Dat kan van geëxporteerde brandstof niet gezegd worden.





Zonnecentrale ZW van Breda; 1,8 ha, vermogen 1,6 MW.

ZONNEPANELEN

Zonnepanelen zijn niet mijn ding. Ik zet ze niet op mijn dak, omdat ik geen ruzie met mijn burens wil. Wanneer die ontdekken dat zij voor mijn stroom betalen, worden ze vast boos (1). Er zijn mensen die denken dat die dingen in onze energiebehoefte kunnen voorzien. Dat is niet het geval. Hieronder leg ik uit waarom.

'De Ingenieur' (2) berichtte dat ten Zuid-Westen van Breda een zonnecentrale komt. Die zal als de zon schijnt 1,6 MW (1,6 miljoen Watt = 1600 kilowatt) elektrisch vermogen leveren. De panelen beslaan een oppervlak van 1,8 ha. Indien zulke centrales alle energie zouden moeten opwekken die wij in Nederland verbruiken, 3245 PJ (petajoule = 10^{15} joule) (3), dan moet vrijwel het hele land met zonnepanelen worden belegd. Om ook nog onze welvaart te kunnen handhaven moeten we België, Luxemburg en een stuk van Duitsland veroveren en ontvolken om daar de benodigde zonnepanelen neer te zetten en te gaan wonen. Het land is dan wel vier keer zo groot, maar de leefruimte is kleiner dan wat we nu gewend zijn. Ons stukje West Europa komt er in die optie zo uit te zien.



Welvarend Nederland bekrachtigd met zonnecellen.

Indien de buren niet akkoord gaan en wij bereid zijn een deel van de welvaart op te geven moeten we 90% van eigen land aan de panelen opofferen. Maar daarmee zijn we er nog niet.

Bij discussies over windmolens en zonne-energie kijkt men doorgaans alleen naar de behoefte aan elektrische energie. Dat is slechts 13% van ons totale energieverbruik. Daarvoor zou 10% van het landoppervlak voldoende zijn. Maar dat is een drogreden, want we bouwen molens en zetten zonnepanelen neer om van gebruik van fossiele brandstof af te komen. Die zijn over 200 jaar op en daarop moeten we ons voorbereiden, niet op vervanging van een klein deel. 200 jaar lijkt lang. Maar voor het zover is, komt er schaarste.

Bovendien vergt het omzetten van het hele energiesysteem zo'n 50 jaar. En er zal nog heel wat onderzoek en ontwikkelingswerk nodig zijn voor de omzetting realiseerbaar is.

Gegevens en bijzonderheden

Nederland importeerde en produceerde in 2011 (3) 20048 PJ. Sindsdien is er niet veel veranderd. 6605 PJ werd direct doorverscheept naar andere landen. Daaraan verdienen we zo goed als niets. Wij verbruikten zelf 3245 PJ. De resterende 10000+ PJ verwerkten we tot benzine, diesel en andere koolwaterstoffen, die we profijtelijk exporteerden. Indien we daarmee ophouden vermindert onze welvaart. We zouden daarom graag de toestroom en productie op de som van *eigen verbruik en verwerking* willen houden: 13443 PJ.

De Bredase centrale heeft een piekvermogen van 1,6 MW. Ze beslaat 1,8 ha (2).

Zonnecellen produceren niet, of niet genoeg als de zon niet of onvoldoende schijnt. Om er achter te komen welke opbrengst we mogen verwachten, kijken we naar Duitsland. Daar staat al heel veel zonnecapaciteit en het Bundes Ministerium für Energie houdt capaciteit en opbrengst bij (4). In 2014 stond daar een (piek) vermogen van 38236 MW en dat bracht 36056 GWh voort. In Duitsland heeft de zon gemiddeld wat meer kracht dan bij ons, zo'n 10%. Maar we nemen maar aan dat het in Nederland als in Duitsland zal zijn. Wij zijn slimmer en onze installaties zijn nieuwer (!).

Ons landoppervlak is 34065,26 km² (5).

Op donkere dagen en 's nachts zou er zonder opslag geen elektriciteit zijn. Bij opslag en vervolgens afgifte van stroom gaat energie verloren. Reken op 10% verlies. (Opslag maakt de stroom twee à drie keer zo duur (6), maar over de prijs wil ik het nu niet hebben.)

Het overgrote deel van de energie is nodig in andere vorm dan elektriciteit bv. voor transport – auto's, vliegtuigen, schepen – en voor allerlei industriële processen. Vaak denkt men bij energie alleen aan een brandende lamp of kachel, warm water en de benzine voor de auto. Maar het meeste zit in ons brood, onze huizen, wegen, treinen, kleren, paprika's, bruggen... We zullen daarom een groot deel van de geproduceerde elektriciteit moeten omzetten in 'secundaire energiedragers', bv. koolwaterstoffen. (Men denkt ook wel aan waterstof, maar dat is een lastig stofje. Het is licht - weinig energie per volume

- explosief en het erodeert opslagvaten.) Het zal dus wel koolwaterstof worden.

Bij de omzetting van elektriciteit in secundaire energiedragers gaat veel energie verloren. CH₄ kunnen we maken met een cycle efficiëntie van 30%.

Omdat rekenen op onze scholen min of meer een keuzevak is, plaats ik de berekening aan het eind van dit artikel. Eerst dus de resultaten en het comentaar.

Resultaat van de berekening en commentaar.

Om voor binnenlands verbruik elektrische energie uit zonnepanelen te verkrijgen gelijk aan het totale energieverbruik zou 32% van ons landoppervlak bedekt moeten worden met zonnepanelen. Tegenwoordig gebruiken wij 13% van onze energie als elektrische. Bij zoveel stroom zal het elektriciteitsverbruik toenemen en het overige energieverbruik dalen. Veronderstel dat in de toekomst 25% van de energie elektrisch zal zijn. De overblijvende 75% moet worden omgezet in secundaire energiedragers. Opslag en omzetting samen vergroten de 32% landbeslag tot 88%.

Indien we onze positie als energieleverancier aan het buitenland niet willen opgeven, moeten we niet alleen kijken naar het binnenlands verbruik, maar ook naar de energie die wij hier verwerken en vervolgens exporteren. Anders duikelt onze welvaart. Daartoe moeten de zonnepanelen tenminste 13443 PJ leveren. Het direct nodige oppervlak is dan 131% van ons landoppervlak. We zouden dus een stuk van België moeten annexeren en zelf ook nog een plekje vinden om te wonen. Indien we ook met opslag en omzetting in secundaire dragers de huidige toestand willen handhaven is drie-en-half keer ons landoppervlak nodig. Kortom

Net als voor windmolens geldt voor zonnepanelen: alleen geschikt om luchtkastelen mee te verlichten en te verwarmen.

Deze vernietigende conclusie betekent niet dat molens en zonnecellen nergens goed voor zijn. Er zijn niche toepassingen, in zonnige streken zonder veel industrie, op eilanden in passaat zones, op afgelegen plekken, in satellieten... *Onderzoek en ontwikkelingswerk op beperkte schaal is daarom wel gerechtvaardigd, maar grootschalige toepassing in ons land niet.* Dat geldt overigens niet voor

onderzoek aan opslag van elektriciteit en conversie in andere energiedragers.

Het echte probleem is het opraken van de voorraden kolen, olie en gas. Het zal over een kleine tweehonderd jaar het voortbestaan van de mensheid bedreigen. Dat is alleen met kernenergie – uranium, thorium, kernfusie en wellicht radioactieferval – op te lossen. Er moeten veilige reactoren gebouwd worden. Ook voor die enige lange-termijn oplossing is het nodig elektriciteit in secundaire energie dragers te converteren.

Het zwaartepunt van onze research en ontwikkeling moet liggen bij veilige kernreactoren en conversie in secundaire energiedragers.

Berekening:

piekvermogen van 1,8 ha (2)	1,6		MW
piekvermogen per ha	0,8888889		MW/ha
Duitsland 2014 geïnstalleerd vermogen (4)	38,236	10exp9	W
Duitsland 2014 productie (4)	36,056	10exp12	Wh/yr
Duitsland 2014 aantal uren volvermogen	0,9430	10exp3	h/yr
Breda bij zelfde volvermogen uren per ha per jaar	838,22		MWh/yr.ha
Breda idem in [joule]	3,017	10exp12	J/yr.ha
Nederlands verbruik per jaar (3)	3245	10exp15	J/yr
Nederland verbruikt + verwerkt per jaar (3)	13443	10exp.15	J/yr
Landoppervlak Nederland (5)	34065,26		km ²
Benodigd oppervlak eigen verbruik	10756		km ²
Benodigd oppervl.verbruik+verwerking	44557		km ²
Fractie benodigd oppervl.verbruik	32%		
Fractie benodigd oppervl.verbr.+verwerk.	131%		
Fractie idem verbruik incl.opslag&conversie	88% *	0,25x32+0,75x32/0,3%	
Fractie idem verbr.+verwerk.opslag&conversie	360% *	0,25x131+0,75x131/0,3%	

* Gelet op de dominante conversie onzekerheid laten we die van elektriciteitsopslag buiten beschouwing.

Dank aan Fred Udo, die mijn aanvankelijk te optimistische schatting over de opbrengst van zonnecellen corrigeerde en mij verwees naar de ervaring en de cijfers in Duitsland.

Nieuwegein,
2015 05 12.
tekst verbeterd
2015 05 15 & 2018 05 09 (7).

Noten en referenties

1. Aanschaf en installatie van zonnepanelen wordt gesubsidieerd. Stroom kost burgers ca. 23 ct/kWh. Paneelbezitters leveren stroom terug aan het net en ontvangen via de zgn. saldering dat zelfde bedrag, terwijl de waarde van de teruggeleverde stroom in doorsnee ongeveer 5 ct/kWh is. Het verschil plus de subsidie betaalt de overheid uit de zak van de burgerij.
2. 'Publiek betaalt zonnepark'; De Ingenieur 5 (2015) p.3.
3. Zie Tabel 1 (cijfers van het jaar2011) in [De besparing van brandstof en CO₂ uitstoot door Windenergie](#).
4. Wikipedia; cijfers van [Bundesministerium für Economie & Energie](#).
5. Wikipedia.
6. Zie Tabel "Opslag van elektrische energie" in [Windmolens en zonnestroom](#). (De tabel is overgenomen uit 'De Ingenieur' van 1 okt. 2010.)
7. F.Udo deed me de cijfers nagaan. Het bleek o.a dat de Duitse opgave sinds 2015 iets was veranderd, wat leidde tot verlaging van het percentage landbeslag. De conclusie 'goed voor luchtkastelen' blijft overeind.

